

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 101 17 833.6

Anmeldetag: 03. April 2001

Anmelder/Inhaber: Institut für Mikroelektronik Stuttgart,
Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur FPN-Korrektur von
Bildsignalen

IPC: H 04 N 1/401

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. April 2002
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Joost

WITTE, WELLER & PARTNER

Patentanwälte

Rotebühlstraße 121 · D-70178 Stuttgart
Postfach 105462 · D-70047 Stuttgart

Anmelder:

Institut für Mikroelektronik Stuttgart
Allmandring 30a

D-70569 Stuttgart

3. April 2001
2613P107 SG/GS-sp

Verfahren und Vorrichtung zur FPN-Korrektur von Bildsignalen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur FPN-Korrektur von Bildsignalen, die von Bildzellen eines Bildsensors erzeugt werden. Die Erfindung betrifft ferner eine digitale Kamera mit einer solchen Vorrichtung.

In der Photo- und Filmkameratechnik werden als Ersatz für herkömmliches Filmmaterial in zunehmendem Maße Bildaufnehmer eingesetzt, die eine optische Intensitätsverteilung in elektronische Bildsignale umwandeln. Derartige Bildsensoren weisen eine regelmäßige Anordnung von Bildpunkten ("Pixeln") auf, denen jeweils eine oder mehrere lichtempfindliche, im folgenden als

Bildzellen bezeichnete Schaltungen aus Halbleiterbauelementen zugeordnet sind. Jede dieser Bildzellen erzeugt ein Bildsignal, dessen Spannungswert eine Funktion der Intensität des auf die Bildzelle auftreffenden Lichts ist.

Bei Bildsensoren für die farbige Wiedergabe besteht jeder Bildpunkt in der Regel aus einem Tripel von Bildzellen, die jeweils durch ein Farbfilter für eine der drei Spektralfarben Rot, Grün und Blau überdeckt sind. Jedes Bildsignal einer solchen Bildzelle gibt einen auf die betreffende Spektralfarbe bezogenen Helligkeitswert wieder, so daß in der Gesamtheit der drei Einzelsignale die Farbinformation für den betreffenden Bildpunkt enthalten ist.

Betrachtet man ein durch derartige Bildsignale repräsentiertes Bild auf einem Monitor oder einem Ausdruck, so stellt man fest, daß Flächen des Bildes, die eigentlich homogen und gleichmäßig erscheinen sollten, tatsächlich eine mehr oder weniger starke Körnung aufweisen. Diese Körnung entsteht dadurch, daß identisch aufgebaute Bildzellen trotz gleicher Intensität des auftreffenden Lichtes unterschiedliche Bildsignale erzeugen. Dieser Effekt wird als "fixed pattern noise" oder kurz als "FPN" bezeichnet. Die unterschiedlichen Eigenschaften der an sich identischen Bildzellen gehen auf herstellungsbedingte Variationen der elektronischen Bauelemente zurück, aus denen die einzelnen Bildzellen aufgebaut sind. Diese Variationen betreffen insbesondere die Geometrie und Dotierung der Strukturen, aus denen die einzelnen elektronischen Bauelemente ihrerseits bestehen. Je komplexer die einzelnen Bildzellen aufgebaut sind, desto größer ist im allgemeinen auch das FPN.

Zur Korrektur des FPN ist es bekannt, im Rahmen eines sogenannten "Weißabgleichs" bei einer Referenzhelligkeit ein Bild mit dem Bildsensor aufzunehmen und für jede Bildzelle einen Differenzwert des entsprechenden Bildsignals zu einem gemeinsamen Referenzsignal abzuspeichern. Dieser Differenzwert, der positiv oder negativ sein kann, wird nun stets zu dem von der betreffenden Bildzelle erzeugten Bildsignal hinzuaddiert. Für die Referenzhelligkeit wird das FPN durch dieses bekannte Verfahren vollständig korrigiert.

Für von der Referenzhelligkeit verschiedene Helligkeiten wird das FPN hingegen nur unzureichend korrigiert, d.h. bei solchen Helligkeiten bleibt die körnige Darstellung an sich homogener Flächen weitgehend unverändert. Dies liegt daran, daß die Kennlinien der einzelnen Bildzellen, die den Zusammenhang zwischen der auf der Bildzelle auftreffenden optischen Intensität (Helligkeit) und dem erzeugten Bildsignal angeben, sich nicht nur durch das Hinzuaddieren eines Differenzwertes zur Deckung bringen lassen. Vielmehr unterscheiden sich die Kennlinien der einzelnen Bildzellen auch bezüglich ihrer Steigung, so daß eine Korrektur bei der Referenzhelligkeit sich bei anderen Helligkeiten u.U. erheblich weniger auswirkt.

In der Praxis stößt die Korrektur des FPN vor allem deswegen auf Schwierigkeiten, weil aufwendige mathematische Transformationen im Rahmen der Korrektur wegen der hohen erforderlichen Speicher- und Rechenkapazitäten und wegen der Echtzeitanforderungen zumindest für kommerzielle Anwendungen ausscheiden.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur FPN-Korrektur von Bildsignalen der eingangs genannten Art derart zu verbessern, daß eine deutliche Verringerung des FPN bei geringen Anforderungen an den Speicherbedarf und die Rechenleistung erzielt wird.

Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe durch folgende Schritte gelöst, die vorzugsweise für das Bildsignal jeder Bildzelle getrennt durchgeführt werden:

- a) Ermitteln, in welchem von wenigstens zwei Wertebereichen der Wert des Bildsignals zu einem vorgegebenen Zeitpunkt liegt;
- b) Bestimmung eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung einer Transformationsgleichung in Abhängigkeit von dem Ergebnis nach Schritt a).

Hinsichtlich der Vorrichtung wird die Aufgabe bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art gelöst durch:

- a) einen Diskriminator zum Ermitteln, in welchem von wenigstens zwei Wertebereichen der Wert eines Bildsignals einer Bildzelle zu einem vorgegebenen Zeitpunkt liegt,
- b) einer Auswahleinrichtung zur Bestimmung eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung einer Transformationsgleichung in Abhängigkeit von dem von dem Diskriminator ermittelten Ergebnis.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß sich eine wesentliche Verbesserung der FPN-Korrektur bereits dadurch erzielen läßt, daß die Bildsignale nicht in einheitlicher Weise über den gesamten Wertebereich hinweg, sondern in unterschiedlicher Weise nach mehreren Wertebereichen getrennt korrigiert werden. Dies erlaubt es, mit sehr einfachen, an den Speicherbedarf und die Rechenleistung geringe Anforderungen stellende Transformationen gute Korrekturergebnisse zu erzielen. Innerhalb der einzelnen Wertebereiche kann nämlich die Kennlinie einer jeden Bildzelle durch eine mathematisch vergleichsweise einfache Gleichung angenähert werden, was die Verwendung entsprechend einfacher, mit geringem Rechenaufwand durchführbarer Transformationen erlaubt. Die zugrundeliegenden Transformationsgleichungen benötigen nur sehr wenige abzuspeichernde Koeffizienten, wodurch auch der Speicherbedarf gering gehalten wird.

Durch die erfindungsgemäße getrennte Korrektur der Bildsignale in unterschiedlichen Wertebereichen wird es also möglich, die relativ komplizierten, ganz unterschiedliche physikalische Phänomene repräsentierenden Kennlinien der einzelnen Bildzellen abschnittsweise durch so einfache Funktionen anzunähern, daß mit einfachen Transformationsgleichungen und entsprechend wenigen Koeffizienten pro Bildzelle eine gute Korrektur des FPN möglich wird.

Die durch die Auswahleinrichtung vorzunehmende Bestimmung eines Korrekturwertes für das Bildsignal kann beispielsweise derart erfolgen, daß für jeden Bildpunkt für die wenigstens zwei Wertebereiche unter Verwendung der hierfür gültigen Transformationsgleichungen eine der Anzahl der Wertebereiche entsprechende Anzahl von Korrekturwerten ermittelt wird. Aus diesen Kor-

rekturwerten wird dann in Abhängigkeit davon, in welchem Wertebereich der Wert eines Bildsignals einer Bildzelle zu einem vorgegebenen Zeitpunkt tatsächlich liegt, ein bestimmter, diesem Wertebereich zugeordneter Korrekturwert ausgewählt. Für jede Bildzelle sind daher so viele Korrekturwerte zu ermitteln, wie Wertebereiche vorgesehen sind.

Bevorzugt ist es allerdings, wenn die Bestimmung eines Korrekturwertes nach Schritt b) die Schritte umfaßt:

- b1) Auswählen einer Transformationsgleichung aus mehreren Transformationsgleichungen in Abhängigkeit von dem Ergebnis nach Schritt a);
- b2) Berechnen eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung der ausgewählten Transformationsgleichung.

Dieses Vorgehen hat den Vorteil, daß für jede Bildzelle nur die Berechnung eines einzigen Korrekturwertes erforderlich ist, nämlich unter Verwendung derjenigen Transformationsgleichung, die dem Wertebereich zugeordnet ist, in der der Wert eines Bildsignals einer Bildzelle zu einem vorgegebenen Zeitpunkt tatsächlich liegt. Anstelle also aus mehreren im voraus berechneten Korrekturwerten einen Korrekturwert auszuwählen, wird bei diesem Vorgehen nur ein Korrekturwert unter Verwendung einer ausgewählten Transformationsgleichung berechnet.

Grundsätzlich ist es möglich, daß die Transformationsgleichungen, die den wenigstens zwei Wertebereichen zugeordnet sind, für alle Bildzellen gleich sind. Gegenüber der FPN-Korrektur im

Rahmen des Weißabgleichs wird dadurch bereits eine deutliche Verringerung des FPN erzielt.

Besonders bevorzugt ist es jedoch, wenn die Transformationsgleichungen für mehrere Bildzellen unterschiedlich sind.

Dabei lassen sich gegebenenfalls mehrere Bildzellen in Gruppen zusammengefaßt kombinieren. Vorzugsweise jedoch werden für jede Bildzelle individuelle Transformationsgleichungen ermittelt.

Durch diese Maßnahme läßt sich eine erhebliche Verbesserung der FPN-Korrektur erzielen, da nun für jede einzelne Bildzelle an deren individuelle Kennlinie angepaßte Transformationsgleichungen verwendet werden können. Dennoch hält sich die Gesamtzahl der abzuspeichernden Koeffizienten in überschaubaren Grenzen, da die Transformationsgleichungen aufgrund der Unterteilung in mehrere Wertebereiche einfach sind. Die Anzahl der erforderlichen Koeffizienten hängt von der Art der verwendeten Näherung ab. Da sich die meisten Kennlinienabschnitte durch einfache lineare, quadratische oder kubische Gleichungen annähern lassen, wird die Anzahl der Koeffizienten pro Transformationsgleichung im allgemeinen nicht über zwei hinausgehen.

Grundsätzlich können die wenigstens zwei Wertebereiche für alle Bildzellen identisch sein. Der zur Durchführung des Verfahrens erforderliche schaltungstechnische Aufbau wird dadurch sehr einfach, da nicht für jede Bildzelle ein oder mehrere eigene Schwellenwerte aus einem Speicher ausgelesen und einem Diskriminator zugeführt werden müssen.

Vorzugsweise sind jedoch sind die wenigstens zwei Wertebereiche für mehrere Bildzellen unterschiedlich.

Zwar erfordert dies zusätzlich das Abspeichern eines oder mehrerer Schwellenwerte für jede einzelne Bildzelle. Dieser Nachteil wird jedoch dadurch aufgewogen, daß dadurch eine weitere erhebliche Verbesserung der FPN-Korrektur erzielt wird. Dies hängt damit zusammen, daß sich die Kennlinie einer einzelnen Bildzelle nur dann innerhalb der wenigstens zwei Wertebereiche gut durch einfache Näherungsgleichungen annähern läßt, wenn der Übergang zwischen den Wertebereichen, d.h. der oder die Schwellenwerte, individuell an die jeweilige Kennlinie angepaßt ist.

Die Schwellenwerte für die einzelnen Bildpunkte können dabei z.B. in einem Schwellenwertspeicher abgelegt sein. Ebenso möglich ist es, die Schwellenwerte aus gespeicherten Koeffizienten für die Transformationsgleichungen zu berechnen, so daß kein zusätzlicher Speicherbedarf für die Schwellenwerte vorzusehen ist. Einzelne Koeffizienten können gegebenenfalls auch unmittelbar als Schwellenwert verwendet werden.

Je nach Art der Kennlinien kann es erforderlich sein, innerhalb der wenigstens zwei Wertebereiche die entsprechenden Kennlinienabschnitte durch strukturell ganz unterschiedliche Näherungsfunktionen zu beschreiben. Entsprechend unterschiedlich können dann auch die Transformationsgleichungen sein, mit denen die von den Bildzellen erzeugten Bildsignale in korrigierte Bildsignale umgerechnet werden. Solche für jeden Wertebereich unterschiedlichen Transformationsgleichungen können beispielsweise mit Hilfe digitaler Signalprozessoren gelöst werden.

Bevorzugt ist es allerdings, wenn für alle Bildzellen Transformationsgleichungen verwendet werden, die sich nur durch unterschiedliche Koeffizienten unterscheiden.

Auf diese Weise lassen sich die Transformationen für alle Bildzellen mit Hilfe einer geeigneten Anordnung von Logikbausteinen durchführen, denen lediglich für jede Bildzelle unterschiedliche Koeffizienten zuzuführen sind. Voraussetzung ist hierbei natürlich, daß die Kennlinien sich innerhalb der einzelnen Wertebereiche derart durch geeignete Näherungsfunktionen beschreiben lassen, daß sich Transformationsgleichungen von einheitlicher Struktur ergeben. Bevorzugt sind hierbei natürlich lineare Transformationsgleichungen, da diese sich besonders einfach durch eine Anordnung von Addierern und Multiplizierern schaltungstechnisch umsetzen lassen.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind deswegen die Transformationsgleichungen durch eine Anordnung von Logikbausteinen, insbesondere von Addierern und Multiplizierern, festgelegt, denen die Koeffizienten aus einem Speicher zugeführt werden.

Ferner ist es bevorzugt, wenn für jede Bildzelle die Transformationsgleichungen aus einem Vergleich einer Ist-Kennlinie, die einen Zusammenhang zwischen einer auf die jeweilige Bildzelle auftreffenden optischen Intensität und dem erzeugten Bildsignal angibt, mit einer Soll-Kennlinie ermittelt sind.

Die Soll-Kennlinie kann dabei willkürlich festgelegt sein. Die Festlegung sollte dann aber unter dem Gesichtspunkt erfolgen, daß sich im Hinblick auf die Näherungsgleichungen für die Ist-

Kennlinien möglichst einfache Transformationsgleichungen innerhalb der Wertebereiche ergeben.

Bevorzugt ist es dabei jedoch, wenn die Soll-Kennlinie durch Bildung des Mittelwertes aus den Ist-Kennlinien der Bildzellen ermittelt wird.

Durch diese Festlegung der Soll-Kennlinie werden die an den einzelnen Bildsignalen vorzunehmenden Korrekturen insgesamt minimal.

Bei bestimmten Bildsensoren, wie sie beispielsweise aus der EP 632 930 B1 bekannt sind, wird eine hohe Eingangssignaldynamik logarithmisch auf eine erheblich kleinere Ausgangssignaldynamik komprimiert. Jede Bildzelle dieser Bildsensoren erzeugt somit eine Ausgangsspannung, die dem Logarithmus der darauf auftretenden optischen Intensität entspricht. Auf diese Weise läßt sich die extrem hohe Bestrahlungsstärke-Dynamik natürlicher Szenen, die in der Größenordnung von 120 dB liegt, signaltechnisch erfassen. Die logarithmische Komprimierung wird von elektronischen Bauelementen bewirkt, die Bestandteil jeder einzelnen Bildzelle sind. Es hat sich gezeigt, daß bei derartigen Bildsensoren mit Hilfe des neuen FPN-Korrekturverfahrens besonders gute Ergebnisse erzielbar sind. Die Kennlinien derartiger Bildzellen lassen sich nämlich in wenigstens zwei Wertebereiche unterteilen, innerhalb derer sie jeweils annähernd linear zum Logarithmus der Helligkeitsinformation sind.

Es ist deswegen bevorzugt, daß bei annähernd logarithmischen Ist-Kennlinien der Bildzellen die wenigstens zwei Wertebereiche derart festgelegt werden, daß innerhalb der Wertebereiche die

Ist-Kennlinien und die Soll-Kennlinie jeweils annähernd linear zum Logarithmus der optischen Intensität sind.

Dabei ist es weiter bevorzugt, wenn für jede Bildzelle und für jeden der wenigstens zwei Wertebereiche der Korrekturwert V_c für das Bildsignal zu dem vorgegebenen Zeitpunkt aus einem von der Bildzelle erzeugten tatsächlichen Wert V_r nach einer Transformationsgleichung der Form

$$V_c = a \cdot V_r + b$$

ermittelt wird, wobei a und b aus einem Vergleich der Ist-Kennlinie mit der Soll-Kennlinie ermittelte Koeffizienten der Transformationsgleichung sind.

Eine derartige lineare Transformationsgleichung ergibt sich, wenn die einzelnen Kennlinienabschnitte durch lineare Funktionen angenähert werden. Schaltungstechnisch läßt sich eine derartige lineare Transformationsgleichung durch eine einfache Reihenschaltung aus einem Multiplizierer und einem Addierer umsetzen, wobei es auf die Reihenfolge dieser beiden Logikbausteine im Prinzip nicht ankommt.

In Weiterbildung dieser Ausgestaltung gilt für die Koeffizienten a und b

$$a = \frac{a_i}{a_r} \text{ und } b = b_i - \frac{a_i}{a_r} b_r,$$

wenn in dem entsprechenden Wertebereich die Soll-Kennlinie durch die Gleichung

$$V_i = a_i \cdot \log E + b_i$$

und die Ist-Kennlinie durch die Gleichung

$$V_r = a_r \cdot \log E + b_r$$

angenähert wird, wobei E ein Maß für die auf die betreffende Bildzelle auftreffende optische Intensität ist.

In jedem Wertebereich werden somit die bezüglich des Logarithmus der Helligkeitsinformation linearen Bildsignale der einzelnen Bildzellen durch lineare Näherungsgleichungen beschrieben, deren Koeffizienten durch die angegebene Beziehung die Koeffizienten der Transformationsgleichung ergeben. Diese Koeffizienten werden in einem Speicher gespeichert und jedesmal abgerufen, wenn das Bildsignal der betreffenden Bildzelle innerhalb des zugeordneten Wertebereichs liegt.

Vorzugsweise werden die Koeffizienten a_r und b_r durch die Methode der kleinsten Abweichungsquadrate aus Ist-Kennlinien der Bildzellen ermittelt.

Da bei der werkseitigen Aufnahme der Ist-Kennlinien nur einzelne Meßpunkte zur Verfügung stehen, bietet diese Methode einen besonders einfachen und genauen Weg, um die Koeffizienten der linearen Näherungsgleichungen zu ermitteln.

Vorzugsweise werden die Koeffizienten a_i und b_i durch Mittelwertbildung aus den Koeffizienten a_r und b_r über alle Bildzellen bestimmt.

Dadurch kann auf besonders einfache Weise in den einzelnen Wertebereichen eine Näherungsgleichung für die Soll-Kennlinie ermittelt werden.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung der nachfolgenden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung. Darin zeigen:

Fig. 1 eine stark schematisierte Darstellung einer erfindungsgemäßen digitalen Kamera mit einem darin eingebauten Bildsensor;

Fig. 2 ein Prinzipschaltbild einer Elektroneinheit zur Weiterverarbeitung von Bildsignalen, die von dem in Fig. 1 dargestellten Bildsensor erzeugt werden;

Fig. 3 die Darstellung einer Kennlinie einer einzelnen logarithmisch komprimierenden Bildzelle, bei der eine Ausgangsspannung über einer auf die Bildzelle auftreffenden optischen Intensität aufgetragen ist;

Fig. 4 eine Darstellung der Kennlinien mehrerer Bildzellen eines Bildsensors;

Fig. 5 eine Darstellung der Verteilung von Ausgangsspannungen, die für zwei unterschiedliche Helligkeitswerte von mehreren Bildzellen erzeugt werden;

- Fig. 6 eine der Fig. 4 entsprechende Darstellung mehrerer Kennlinien, in der zusätzlich eine Soll-Kennlinie eingetragen ist;
- Fig. 7 eine Darstellung einer Soll-Kennlinie und einer Ist-Kennlinie in einer Darstellung wie in Fig. 6, in der zusätzliche Näherungsgeraden für einzelne Wertebereiche gezeigt sind;
- Fig. 8 eine Darstellung einer Ist-Kennlinie mit einer Unterteilung in drei Wertebereiche;
- Fig. 9 eine der Fig. 5 entsprechende Darstellung der Verteilung der Ausgangsspannungen, die der erfindungsgemäßen FPN-Korrektur unterworfen worden sind;
- Fig. 10a-10f Ausführungsbeispiele für eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur FPN-Korrektur in schematischer Darstellung.

Fig. 1 zeigt in einer stark vereinfachten schematischen Darstellung eine Digitalkamera 10, bei der es sich um eine Foto- oder auch um eine Filmkamera handeln kann. Die Digitalkamera 10 weist einen elektronischen Bildsensor 12 auf, auf dessen lichtempfindlicher Oberfläche ein Motiv 14 mit Hilfe eines hier nur angedeuteten Linsensystems 16 abgebildet wird. In einer Elektronikeinheit 18 werden die von dem Bildsensor 12 aufgenommenen Bilder digital weiterverarbeitet, so daß sie schließlich über einen Kameraausgang 20 ausgelesen werden können. Der Elektronikeinheit 18 kann ein - in Fig. 1 nicht dargestellter - Bildspeicher zugeordnet sein, in dem die aufbereiteten Bilder ge-

speichert werden können. Außerdem ist es möglich, nur einen Teil der Elektronikeinheit 18 innerhalb der Digitalkamera 10 anzuordnen. Die übrigen Teile sind dann außerhalb der Digitalkamera 10 z.B. als eine auf einem Personalcomputer ausführbare Software realisiert.

In Fig. 2 sind der Bildsensor 12 sowie die Elektronikeinheit 18 mit weiteren Einzelheiten dargestellt. Der Bildsensor 12 weist eine regelmäßige Anordnung von Bildpunkten auf, die in an sich bekannter Weise aus jeweils drei lichtempfindlichen Bildzellen 22 bestehen. Jede Bildzelle 22 eines Bildpunktes wird von unterschiedlichen Farbfiltern abgedeckt, so daß die von der jeweiligen Bildzelle erzeugte Ausgangsspannung eine Funktion der Intensität des Lichtes derjenigen Spektralfarbe ist, die durch das betreffende Filter hindurchtreten kann. Bei nur für Schwarz-Weiß-Aufnahmen geeigneten Bildsensoren bestehen die Bildpunkte jeweils aus nur einer einzigen Bildzelle. Die im Bildsensor 12 verwendeten Bildzellen 22 sind als Schaltungen von Halbleiterbauelementen realisiert, die im dargestellten Ausführungsbeispiel eine Ausgangsspannung erzeugen, die annähernd dem Logarithmus der darauf auftreffenden optischen Intensität entspricht. Die Bildzellen 22 erzeugen deswegen logarithmisch komprimierte Bildsignale. Einzelheiten zum Aufbau derartiger Bildzellen 22 sind der zuvor bereits erwähnten EP 632 930 B1 entnehmbar.

Die von den Bildzellen 22 erzeugten Bildsignale werden zeilen- und spaltenweise ausgelesen und in einem Auslesemultiplexer 24 zu einem Gesamtsignal zusammengestellt. Das Gesamtsignal enthält somit in zeitlicher Abfolge die den einzelnen Bildzellen 22 zugeordneten Bildsignale. Im folgenden beziehen sich deswe-

gen Ausführungen zu Bildsignalen immer auf das Bildsignal, das von einer ganz bestimmten Bildzelle 22 im Bildsensor 12 erzeugt wird.

Die Bildsignale werden in einem Analog/Digital-Wandler 25, der auch auf dem Bildsensor 12 selbst angeordnet sein kann, digitalisiert und anschließend in einer FPN-Korrekturereinheit 26 derart korrigiert, daß die durch das FPN hervorgerufenen Verfälschungen des aufgenommenen Bildes weitgehend reduziert werden. Der Aufbau der FPN-Korrekturereinheit 26 wird weiter unten noch anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Das FPN-korrigierte Bildsignal wird anschließend in einer Verarbeitungsstufe 32 weiter aufbereitet, z.B. um die Helligkeit oder die Farbsättigung gezielt zu verändern und um eine γ -Korrektur durchzuführen.

Das derart aufbereitete Bildsignal kann schließlich über den Ausgang 20 ausgelesen und mit Hilfe eines Ausgabegerätes 34 in ein Bild zurückverwandelt werden.

Fig. 3 zeigt eine Kennlinie 36 einer einzelnen Bildzelle 22 in einer Darstellung, bei der eine von der Bildzelle 22 erzeugte Ausgangsspannung V über einer auf die Bildzelle 22 auftreffenden Helligkeit E aufgetragen ist. In der gewählten halb-logarithmischen Darstellung, bei der die Abszisse logarithmisch unterteilt ist, ist erkennbar, daß die Kennlinie 36 einen ersten und einen zweiten Abschnitt 38 bzw. 40 aufweist, in dem die Ausgangsspannung V annähernd linear zum Logarithmus der Helligkeit E ist. Bei höheren Helligkeiten (erster Abschnitt 38) nimmt das Ausgangssignal V der Bildzelle 22 logarithmisch

mit der Helligkeit E zu. Für sehr kleine Helligkeiten (zweiter Abschnitt 40) ist die Ausgangsspannung V der Bildzelle 22 annähernd unabhängig von der Helligkeit E . Dieser annähernd horizontale Abschnitt der Kennlinie 36 repräsentiert einen Dunkelstrom der Bildzelle 22, der im wesentlichen auf die in der Bildzelle enthaltene Fotodiode zurückgeht. Der Dunkelstrom entsteht dort unter anderem aufgrund thermischer Generation und Rekombination freier Ladungsträger über Störstellen, die in der Raumladungszone der Fotodiode vorhanden sind. Zwischen dem ersten Abschnitt 38 und dem zweiten Abschnitt 40 befindet sich ein Übergangsabschnitt 42, in dem die Kennlinie 36 gekrümmt ist.

Mathematisch läßt sich die in Fig. 3 gezeigte Kennlinie 36 einer Bildzelle 22 durch eine Gleichung der Form

$$V = k \cdot \log (\alpha E + I_0) + c \quad (1)$$

darstellen. Dabei bezeichnet I_0 den Dunkelstrom, während die Größe c eine von der Temperatur und der Transistorgeometrie abhängige Größe ist. Der Faktor α gibt den Zusammenhang zwischen der von der Bildzelle 22 erzeugten Stromstärke und der Helligkeit E wieder.

Fig. 4 zeigt eine der Fig. 3 entsprechende Darstellung mehrerer Kennlinien 44, 46, 48, 50 und 52, die unterschiedlichen Bildzellen 22 des Bildsensors 12 zugeordnet sind. In dieser Darstellung ist erkennbar, daß sich die Kennlinien der einzelnen Bildzellen nicht nur hinsichtlich ihrer Dunkelströme, sondern auch hinsichtlich der Faktoren α unterscheiden, die die Stei-

gung der Kennlinien bei höheren Helligkeiten angeben. Aufgrund dieser relativ großen Unterschiede zwischen den einzelnen Kennlinien führt eine Addition oder Subtraktion konstanter Werte, wie dies bei dem herkömmlichen Weißabgleich der Fall ist, nicht zu weitgehend übereinstimmenden Kennlinien.

In Fig. 5 ist für zwei feste Helligkeiten E_1 und E_2 die Verteilung (Anzahl N) der Ausgangsspannungen V angedeutet, wenn in Fig. 4 nicht nur fünf, sondern mehrere hunderttausend Kennlinien aufgetragen werden, die den einzelnen Bildzellen des Bildsensors 12 entsprechen. Die Streuungen der für die einzelnen Bildzellen gemessenen Ausgangsspannungen um die Mittelwerte V_1 bzw. V_2 herum sind ein Maß für die Stärke des FPN. Je breiter diese Verteilungskurven sind, desto stärker ist das FPN und desto körniger erscheint eine an sich homogene Fläche auf einem Bildschirm oder einem Ausdruck. Aus Fig. 5 geht außerdem hervor, daß der FPN-Effekt selbst von der Helligkeit abhängt.

In Fig. 6 ist für die fünf Kennlinien 44 bis 52 aus Fig. 4 eine Soll-Kennlinie 54 eingetragen, die durch Mittelung der tatsächlichen Ist-Kennlinien 44 bis 52 ermittelt ist. Die Mittelwerte V_1 und V_2 aus Fig. 5 liegen somit auf der Soll-Kennlinie 54. Das FPN würde vollständig verschwinden, wenn es gelänge, die tatsächlichen Kennlinien 44 bis 52 durch eine geeignete Transformation auf die Soll-Kennlinie 54 (oder eine anders willkürlich festgelegte Soll-Kennlinie) abzubilden. Eine Transformation der Gleichung (1) ist allerdings mathematisch sehr aufwendig und daher in Echtzeit nicht von einer FPN-Korrekturereinheit zu bewältigen.

Zur Lösung dieses Problems wird nun, wie dies in Fig. 7 dargestellt ist, die Ordinate in einen ersten und einen zweiten Wertebereich 56 bzw. 58 unterteilt, indem ein geeigneter Schwellenwert V_{th} für die Ausgangsspannung festgelegt wird. In dem ersten Wertebereich 56 wird für die Ist-Kennlinie 52 der auf den Dunkelstrom zurückzuführende erste Abschnitt durch eine annähernd horizontale erste Näherungsgerade 60 angenähert. Im zweiten Wertebereich 58 wird die Kennlinie 52 durch eine zweite, nunmehr geneigte Näherungsgerade 62 angenähert. Der Schwellenwert V_{th} wird dabei so gewählt, daß die tatsächliche Kennlinie 52 insgesamt möglichst gut durch die beiden Näherungsgeraden 60 und 62 angenähert wird.

Für den zweiten Wertebereich 58 läßt sich die Näherungsgerade 62 durch eine Gleichung der Form

$$V = a_r \cdot \log E + b_r \quad (2)$$

beschreiben, wobei V_r eine Ausgangsspannung auf der tatsächlichen Kennlinie und a_r und b_r die Koeffizienten der linearen Gleichung (2) darstellen.

Die beiden Koeffizienten a_r und b_r lassen sich in an sich bekannter Weise durch die Methode der kleinsten Abweichungsquadrate (Regressionsanalyse) ermitteln. Hierzu wird für jede Bildzelle einmalig beim Hersteller über den gesamten Helligkeitsbereich hinweg eine Vielzahl von Meßwerten aufgenommen, aus denen dann innerhalb des zweiten Wertebereichs 58 die beiden Koeffizienten a_r und b_r nach der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate ermittelt werden.

Genauso wie die Koeffizienten der zweiten Näherungsgerade 62 werden auch die Koeffizienten der ersten Näherungsgerade 60 für alle Bildzellen des Bildsensors 12 bestimmt. Die Kennlinie einer jeden Bildzelle wird somit jeweils durch insgesamt vier Koeffizienten näherungsweise dargestellt.

Um nun eine Transformation der tatsächlichen Bildsignale zu ermöglichen, wird zunächst eine Soll-Kennlinie 54 ermittelt. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß zunächst durch Mittelung der für jede Bildzelle bei einer bestimmten Helligkeit aufgenommenen Meßwerte ein Mittelwert für diese Helligkeit bestimmt wird. Durch diese Mittelwerte kann dann ebenfalls im Wege der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate eine Näherung durch eine erste und eine zweite Soll-Näherungsgerade 64 bzw. 66 durchgeführt werden. Vorzugsweise werden jedoch aus dem für jede einzelne Bildzelle ermittelten Koeffizienten unmittelbar durch Mittelung die vier Koeffizienten der beiden Soll-Näherungsgeraden 64 und 66 bestimmt, d.h. es gilt z.B. für die zweite Näherungsgerade 62

$$V_i = a_i \cdot \log E + b_i \quad (3)$$

mit

$$a_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_{rk}, \quad b_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n b_{rk}, \quad (4)$$

wobei V_i die Ausgangsspannung der Soll-Kennlinie 54, a_i und b_i die Koeffizienten der zweiten Soll-Näherungsgeraden 66 und a_{rk} und b_{rk} die für jeden Bildpunkt aufgenommenen Meßwerte im zweiten Wertebereich 58 sind. Mit n ist die Anzahl der Bildzellen

bezeichnet, für die Kennlinien aufgenommen sind. Entsprechende Gleichungen gelten ebenso für die erste Soll-Näherungsgerade 64 des ersten Wertebereichs 56.

Der Schwellenwert V_{th} , der die beiden Wertebereiche 56 und 58 voneinander trennt, ist vorzugsweise für jede der Bildzellen 22 unabhängig festlegbar. Ansonsten würden nämlich, wie sich anhand der Fig. 6 leicht erkennen läßt, die annähernd waagerechten Abschnitte der Kennlinien teilweise noch durch die Gleichungen für die geeigneten Abschnitte angenähert und umgekehrt.

Eine weitere Verbesserung der Näherung kann dadurch erzielt werden, daß die Ordinate nicht in zwei, sondern in drei oder noch mehr Wertebereiche aufgeteilt wird. In Fig. 8 ist zwischen dem ersten Wertebereich 56 und dem zweiten Wertebereich 58 für die Kennlinie 52 ein dritter Wertebereich 67 eingefügt, der den Übergangsabschnitt 42 der Kennlinie 52 durch eine quadratische Funktion der Form

$$V_r = p (\log E - E_0)^2 + p_0 \quad (5)$$

annähert, wobei p , E_0 und p_0 Koeffizienten der Parabelgleichung (5) sind. Pro Bildzelle sind dann allerdings nicht nur vier, sondern insgesamt sieben Koeffizienten in der FPN-Korrektur-einheit 26 zu speichern.

Durch Elimination des Terms $\log E$ aus den Gleichungen (2) und (3) läßt sich nun für das in Fig. 7 gezeigte Beispiel die lineare Transformationsgleichung

$$V_c = a \cdot V_r + b \quad (6)$$

ableiten, wobei V_c die korrigierte Ausgangsspannung und a und b die Koeffizienten der Transformationsgleichung (6) bezeichnen. Die Koeffizienten a und b leiten sich aus den Koeffizienten a_r , b_r , a_i und b_i der Näherungsgleichungen (2) und (3) durch die Beziehung

$$a = \frac{a_i}{a_r} \text{ und } b = b_i - \frac{a_i}{a_r} \cdot b_r \quad (7)$$

her. Entsprechende Gleichungen (6) und (7) gelten auch für den ersten Wertebereich 56.

Es sind somit für jede Bildzelle zwei Transformationsgleichungen (6) mit jeweils zwei Koeffizienten erforderlich, um tatsächliche Ausgangsspannungen V_r derart in korrigierte Spannungswerte V_c zu transformieren, daß bei einer gegebenen Helligkeit E_x für alle Bildzellen die korrigierten Ausgangsspannungen V_c annähernd übereinstimmen.

Es versteht sich, daß die vorstehend beschriebene FPN-Korrektur gegebenenfalls auch nur für einen Teil der Bildzellen eines Bildsensors durchgeführt werden kann.

Fig. 9 zeigt die Verteilung der korrigierten Ausgangsspannungen V_c für die beiden Helligkeiten E_1 und E_2 . Wie aus einem Vergleich mit Fig. 5 deutlich wird, ist die Streuung der korrigierten Ausgangsspannungen um die Mittelwerte V_1 bzw. V_2 herum erheblich geringer als bei unkorrigierten Ausgangsspannungen V . Dementsprechend gering ist damit auch das FPN, so daß die Kör-

nigkeit an sich homogener Flächen erheblich und unter Umständen bis unterhalb der Wahrnehmungsschwelle verringert wird.

Fig. 10a zeigt in einer schematischen Darstellung ein erstes Ausführungsbeispiel 26a für den Aufbau einer FPN-Korrektur-einheit 26. Das an einem Eingang 68a zugeführte Bildsignal einer bestimmten Bildzelle wird einem Diskriminator 70a zugeführt, der überprüft, ob das Bildsignal oberhalb oder unterhalb des in einem Schwellenwertspeicher 71a gespeicherten Schwellenwertes V_{th} liegt. Der Schwellenwert V_{th} ist bei diesem Ausführungsbeispiel für alle Bildzellen identisch. Das Ergebnis dieser Überprüfung wird an einen Multiplexer 72a übergeben. Durch den Multiplexer 72a lassen sich Werte aus einem ersten Speicher 74a und einem zweiten Speicher 76a auslesen, denen jeweils die Adresse derjenigen Bildzelle zuführbar ist, deren Ausgangsspannung gerade an dem Eingang 68a in digitaler Form anliegt. In dem ersten Speicher 74a sind Koeffizienten a_1 und b_1 der Transformationsgleichung (6) für den ersten Wertebereich 56 aller Bildzellen des Bildsensors 12 gespeichert. In dem zweiten Speicher 76 sind Koeffizienten a_2 und b_2 der Transformationsgleichung (6) für den zweiten Wertebereich 58 gespeichert.

Der Multiplexer 72a liest nun in Abhängigkeit des von dem Diskriminator 70a übergebenen Ergebnisses aus einem der beiden Speicher 74a oder 76a die Koeffizienten der zu dem ausgewählten Wertebereich gehörenden Transformationsgleichung aus. Die Koeffizienten a_1 oder a_2 werden einem Multiplizierer 78a zugeführt, in dem das am Eingang 68a anliegende Bildsignal mit dem zugeführten Faktor a_1 oder a_2 multipliziert wird. Die Koeffizienten b_1 oder b_2 werden in Abhängigkeit vom ausgewählten Wertebereich einem Addierer 80a zugeführt und zu dem im Multiplizierer 78a

veränderten Bildsignal hinzugefügt. An einem Ausgang 82a der FPN-Korrekturereinheit 26a kann das korrigierte Bildsignal abgegriffen werden.

Die beiden Speicher 74a und 76a sowie der Schwellenwertspeicher 71a können natürlich auch als getrennte Speicherbereiche in einem gemeinsamen Speicherelement realisiert sein.

Je nach der eingesetzten Chiptechnologie, der Zugriffszeit für die beiden Speicher 74a und 76a und der Auslesefrequenz kann es außerdem zweckmäßig sein, die FPN-Korrekturereinheit 26a als Pipeline-Struktur zu realisieren, in deren Datenwege Register eingefügt sind.

Falls mehr als zwei Wertebereiche vorgesehen sind, so ist die Anzahl der vom Diskriminator 70a unterscheidbaren Wertebereiche durch Vorgabe weiterer Schwellenwerte entsprechend anzupassen. Außerdem sind zusätzliche Speicher vorzusehen, aus denen Koeffizienten vom Multiplexer 72a ausgelesen werden können. Falls die Transformationsgleichung (6) keine lineare Gleichung ist, sondern eine andere Form aufweist, so kann dem durch eine andere Anordnung der Logikbausteine (Multiplizierer 78a und Addierer 80a) Rechnung getragen werden.

Bei der in Fig. 10b dargestellten FPN-Korrekturereinheit 26b ist nicht für alle Bildzellen ein gemeinsamer Schwellenwert V_{th} vorgesehen, wie dies bei der FPN-Korrekturereinheit 26a aus Fig. 10a der Fall ist. Vielmehr ist dort für jede Bildzelle ein eigener Schwellenwert V_{th} in einem Schwellenwertspeicher 71b gespeichert. Wie oben bereits erwähnt, wird dadurch die Genauigkeit der FPN-Korrektur erheblich verbessert. Der Schwellenwert-

speicher 71b ist zu diesem Zweck mit einem Eingang 68b der FPN-Korrekturereinheit 26b verbunden, so daß ihm die Adresse derjenigen Bildzelle zuführbar ist, deren Ausgangsspannung gerade an dem Eingang 68b anliegt.

Die in Fig. 10b dargestellte FPN-Korrekturereinheit 26b unterscheidet sich von der in Fig. 10a dargestellten FPN-Korrekturereinheit 26a ferner dadurch, daß dort ein Addierer 80b und ein Multiplizierer 78b in umgekehrter Reihenfolge miteinander verschaltet sind. Auf diese Weise erfolgt keine Berechnung nach Gleichung (6), sondern nach einer Gleichung der Form

$$v_c = a' (V_r + b') \quad (8)$$

wobei die Koeffizienten a' und b' aus a und b ableitbar sind.

Bei der in Fig. 10c gezeigten FPN-Korrekturereinheit 26c ist anstelle eines Schwellenwertspeichers eine Schwellenwertberechnungseinheit 84c vorgesehen, die unter Verwendung der aus Speichern 74c und 76c zugeführten Koeffizienten für jede Bildzelle unabhängig einen Schwellenwert ermittelt und einem Diskriminator 70c zur Verfügung stellt. Eine derartige Berechnung ist z.B. dann sinnvoll, wenn die Kosten für den für einen Schwellenwertspeicher vorzuhaltenden Speicherplatz höher sind als die Kosten für die Schwellenwertberechnungseinheit 84c.

Die in Fig. 10d gezeigte FPN-Korrekturereinheit 26d unterscheidet sich von der in Fig. 10b gezeigten FPN-Korrekturereinheit 26b dadurch, daß der Koeffizient a_1' , der sich aus der Steigung der annähernd horizontalen (Soll-)Näherungsgeraden 60 bzw. 64 errechnet, im ersten Wertebereich für alle Bildzellen gleich ist

und deswegen nicht aus einem Speicher 74d, sondern aus einem Festwertspeicher 86d geladen wird, der gegebenenfalls auch in einem Multiplexer 72d enthalten oder durch eine schaltungstechnische Verdrahtung ersetzt sein kann. Außerdem wird als Schwellenwert der Koeffizient b_1' einem Diskriminator 70d zugeführt, so daß hier ebenfalls ein Schwellenwertspeicher entfällt.

Bei der in Fig. 10e gezeigten FPN-Korrekturereinheit 26e erfolgt nicht zunächst eine Auswahl von Koeffizienten für die einzelnen Wertebereiche und eine anschließende Berechnung der Korrekturwerte V_c , wie dies bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen der Fall ist. Vielmehr werden bei der FPN-Korrekturereinheit 26e parallel für beide Wertebereiche Korrekturwerte berechnet, die hinter den Addierern 78e abgreifbar sind. Aus den beiden berechneten Korrekturwerten wird dann in einem Multiplexer 72e ein Korrekturwert ausgewählt und einem Ausgang 82e zur Verfügung gestellt. Der Multiplexer 72e wird auch hier von einem Diskriminator 70e angesteuert, der überprüft, ob das Bildsignal oberhalb oder unterhalb des in einem Schwellenwertspeicher 71e gespeicherten Schwellenwertes V_{th} liegt.

Die in Fig. 10f gezeigte FPN-Korrekturereinheit 26f unterscheidet sich von der vorstehend beschriebenen FPN-Korrekturereinheit 26e lediglich dadurch, daß der Koeffizient a_1 für alle Bildzellen gleich Null ist, was horizontalen (Soll-)Näherungsgeraden im ersten Wertebereich entspricht. Dadurch entfällt einer der bei der FPN-Korrekturereinheit 26e nach Fig. 10e erforderlichen Multiplizierer. Selbstverständlich können auch bei den FPN-Korrekturereinheiten 26e und 26f die Schwellenwerte auch aus den

gespeicherten Koeffizienten ermittelt werden, wie dies weiter oben zu der FPN-Korrekturereinheit 26c beschrieben wurde.

Die einzelnen Komponenten der vorstehend beschriebenen FPN-Korrekturereinheiten 26a bis 26f können aus digitalen oder auch aus analogen Bauelementen (Multiplizierern 78, Addierer 80 und Multiplexer 72) aufgebaut werden. Bei einem analogen Aufbau entfällt natürlich der eingangsseitige Analog/Digital-Wandler 25. Zusätzlich sind dann die in den Speichern 74 und 76 gespeicherten Koeffizienten mit Hilfe von Digital/Analog-Wandlern in Analogsignale umzuwandeln.

Patentansprüche

1. Verfahren zur FPN-Korrektur von Bildsignalen, die von Bildzellen (22) eines Bildsensors (12) erzeugt werden, gekennzeichnet durch folgende Schritte, die vorzugsweise für das Bildsignal jeder Bildzelle (22) getrennt durchgeführt werden:
 - a) Ermitteln, in welchem von wenigstens zwei Wertebereichen (56, 58; 67) der Wert des Bildsignals zu einem vorgegebenen Zeitpunkt liegt;
 - b) Bestimmung eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung einer Transformationsgleichung in Abhängigkeit von dem Ergebnis nach Schritt a).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung eines Korrekturwertes nach Schritt b) die Schritte umfaßt:
 - b1) Auswählen einer Transformationsgleichung aus mehreren Transformationsgleichungen in Abhängigkeit von dem Ergebnis nach Schritt a);
 - b2) Berechnen eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung der ausgewählten Transformationsgleichung.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsgleichungen für mehrere Bildzellen (22) unterschiedlich sind.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die wenigstens zwei Wertebereiche (56, 58; 67) für mehrere Bildzellen (22) unterschiedlich sind.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für alle Bildzellen (22) Transformationsgleichungen verwendet werden, die sich nur durch unterschiedliche Koeffizienten unterscheiden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationsgleichungen durch eine Anordnung von Logikbausteinen, insbesondere von Addierern (80) und Multiplizierern (78), festgelegt sind, denen die Koeffizienten aus einem Speicher zugeführt werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Bildzelle (22) die Transformationsgleichungen aus einem Vergleich einer Ist-Kennlinie (44, 46, 48, 50, 52), die einen Zusammenhang zwischen einer auf die jeweilige Bildzelle (22) auftreffende optische Intensität und dem erzeugten Bildsignal angibt, mit einer Soll-Kennlinie (54) ermittelt sind.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Soll-Kennlinie (54) durch Bildung des Mittelwertes aus den Ist-Kennlinien (44, 46, 48, 50, 52) der Bildzellen (22) ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei annähernd logarithmischen Ist-Kennlinien (44, 46, 48, 50, 52) der Bildzellen die wenigstens zwei Wertebereiche (56, 58; 67) derart festgelegt werden, daß innerhalb der Wertebereiche (56, 58; 67) die Ist-Kennlinien (44, 46, 48, 50, 52) und die Soll-Kennlinie (54) jeweils annähernd linear zum Logarithmus der optischen Intensität sind.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Bildzelle (22) und für jeden der wenigstens zwei Wertebereiche (56, 58; 67) der Korrekturwert V_c für das Bildsignal zu dem vorgegebenen Zeitpunkt aus einem von der Bildzelle (22) erzeugten tatsächlichen Wert V_r nach einer Transformationsgleichung der Form

$$V_c = a \cdot V_r + b$$

ermittelt wird, wobei a und b aus einem Vergleich der Ist-Kennlinie (44, 46, 48, 50, 52) mit der Soll-Kennlinie (54) ermittelte Koeffizienten der Transformationsgleichung sind.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß für die Koeffizienten a und b

$$a = \frac{a_i}{a_r} \quad \text{und} \quad b = b_i - \frac{a_i}{a_r} b_r$$

gilt, wenn in dem entsprechenden Wertebereich (56, 58; 67) die Soll-Kennlinie (54) durch die Gleichung

$$V_i = a_i \cdot \log E + b_i$$

und die Ist-Kennlinie (44, 46, 48, 50, 52) durch die Gleichung

$$V_r = a_r \cdot \log E + b_r$$

angenähert wird, wobei E ein Maß für die auf die betreffende Bildzelle (22) auftreffende optische Intensität ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten a_r und b_r durch die Methode der kleinsten Abweichungsquadrate aus Ist-Kennlinien (44, 46, 48, 50, 52) der Bildzellen (22) ermittelt werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten a_i und b_i durch Mittelwertbildung aus den Koeffizienten a_r und b_r über alle Bildzellen (22) ermittelt werden.
14. Vorrichtung zur FPN-Korrektur von Bildsignalen, die von Bildzellen (22) eines Bildsensors (12) erzeugt werden, gekennzeichnet durch:
 - a) einen Diskriminator (70) zum Ermitteln, in welchem von wenigstens zwei Wertebereichen (56, 58; 67) der Wert eines Bildsignals einer Bildzelle (22) zu einem vorgegebenen Zeitpunkt liegt,

- b) einer Auswahleinrichtung (72, 74, 76, 78, 80) zur Bestimmung eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung einer Transformationsgleichung in Abhängigkeit von dem von dem Diskriminator (70) ermittelten Ergebnis.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswahleinrichtung aufweist:
- a) Mittel (72) zum Auswählen einer Transformationsgleichung aus mehreren Transformationsgleichungen in Abhängigkeit von dem von dem Diskriminator (70) ermittelten Ergebnis, und
 - b) eine Transformationseinheit (74, 76, 78, 80) zum Berechnen eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung der ausgewählten Transformationsgleichung.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationseinheit eine Anordnung von Logikbausteinen, insbesondere von Addierern (78) und Multiplizierern (80), und einen Speicher (74, 76) umfaßt, in dem den Logikbausteinen zufühnbare Koeffizienten der mehreren Transformationsgleichungen speicherbar sind.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Transformationseinheit eine Reihenschaltung aus einem Multiplizierer (78) und einem Addierer (80) aufweist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführung der Koeffizienten von dem Speicher (74, 76) an die Logikbausteine (78, 80) von den Mitteln (72) zum Auswählen einer Transformationsgleichung steuerbar ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß dem Speicher (74, 76) Angaben zu der ausgelesenen Bildzelle (22) zuführbar sind.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Diskriminator (70) mit einem Schwellenwertspeicher (71) verbunden ist, in dem wenigstens für mehrere Bildzellen (22) unterschiedliche Schwellenwerte speicherbar sind.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Diskriminator (70c) mit einer Schwellenwertberechnungseinheit (84c) verbunden ist, in der für wenigstens mehrere Bildzellen (22) aus von dem Speicher (74c, 76c) zugeführten Koeffizienten Schwellenwerte berechenbar sind.
22. Digitale Kamera, insbesondere Photo- oder Filmkamera (10), mit einem mehrere Bildzellen (22) aufweisenden Bildsensor (12) und einer Vorrichtung (26) zur FPN-Korrektur nach einem der Ansprüche 14 bis 21.

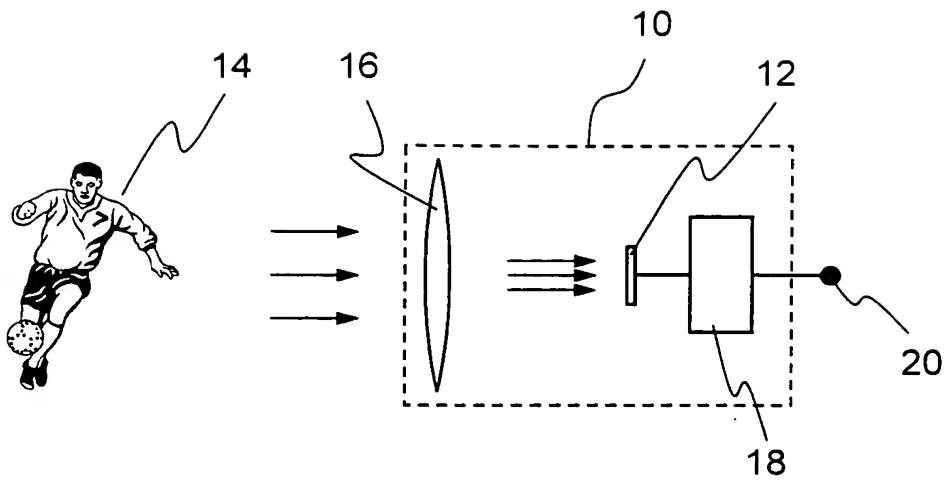


Fig. 1

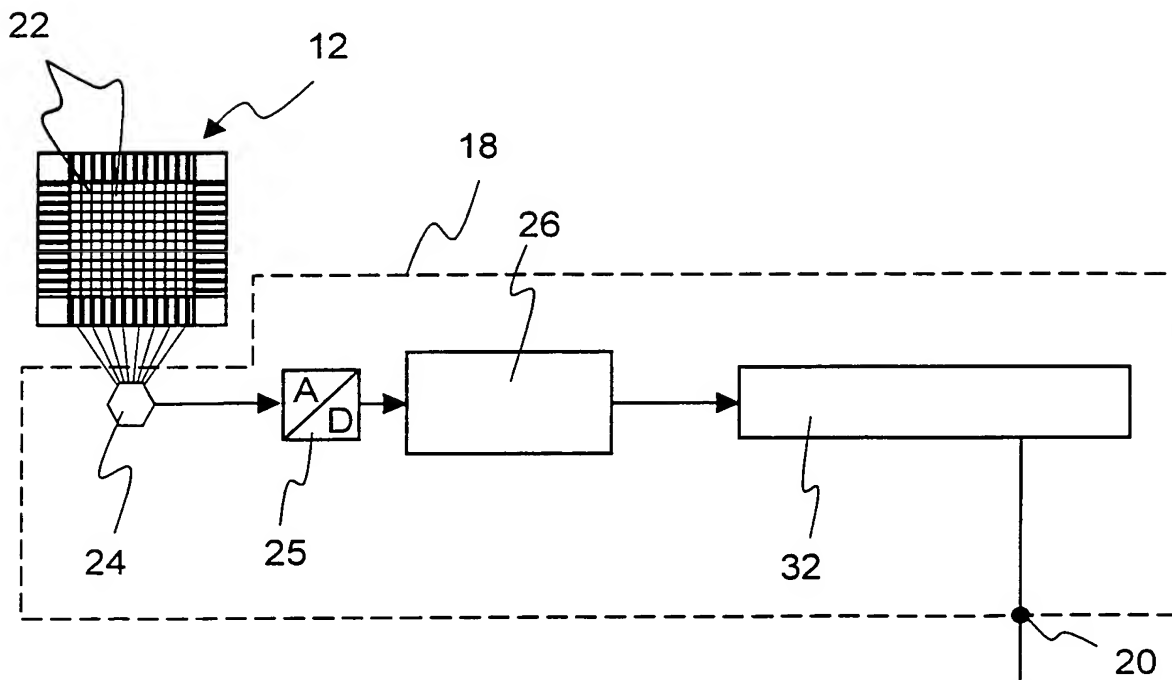


Fig. 2



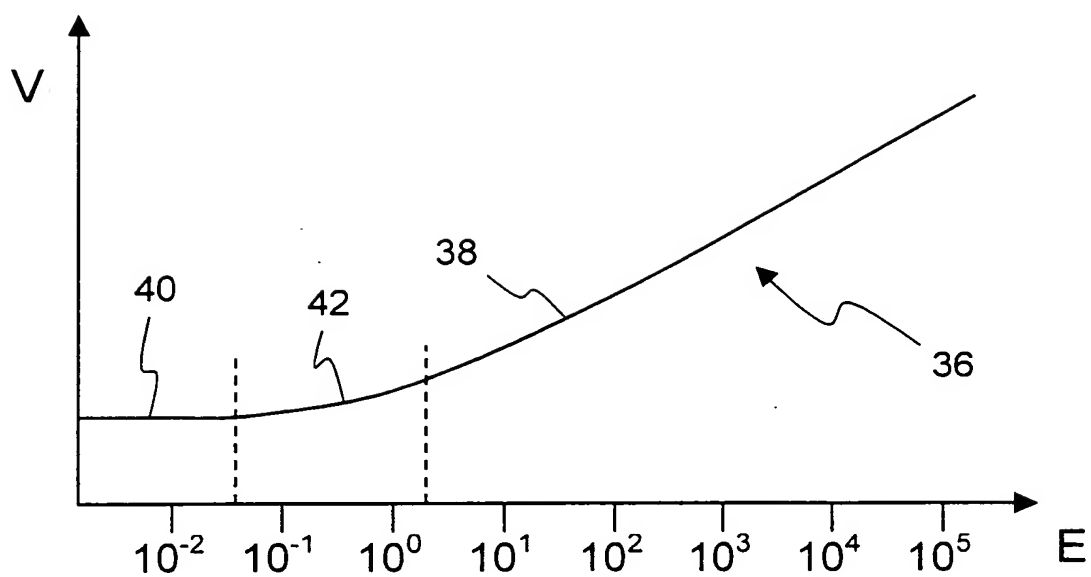


Fig. 3

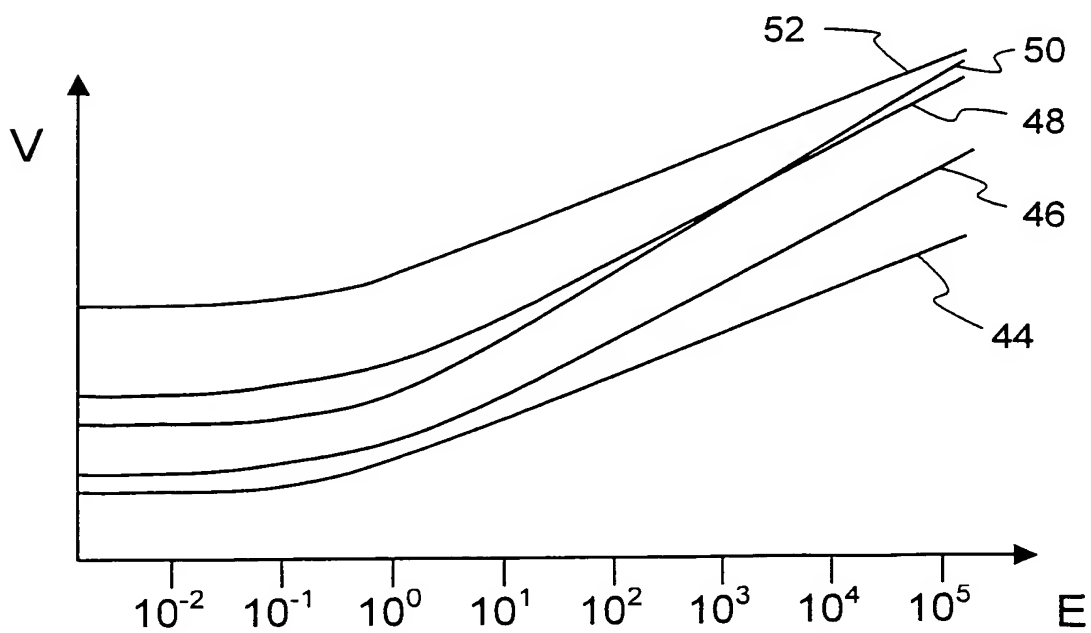


Fig. 4

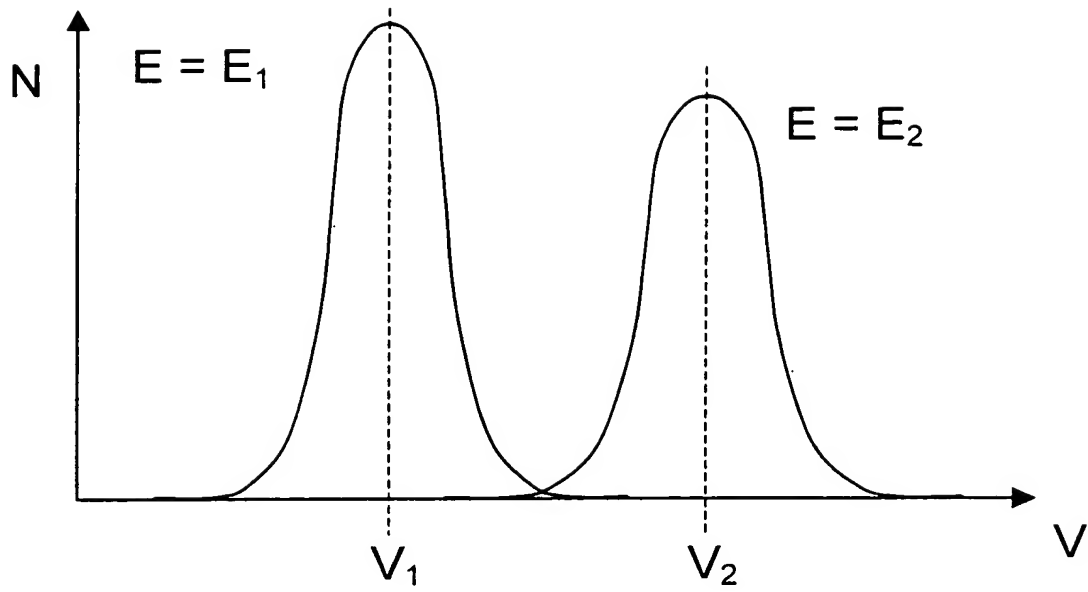


Fig. 5

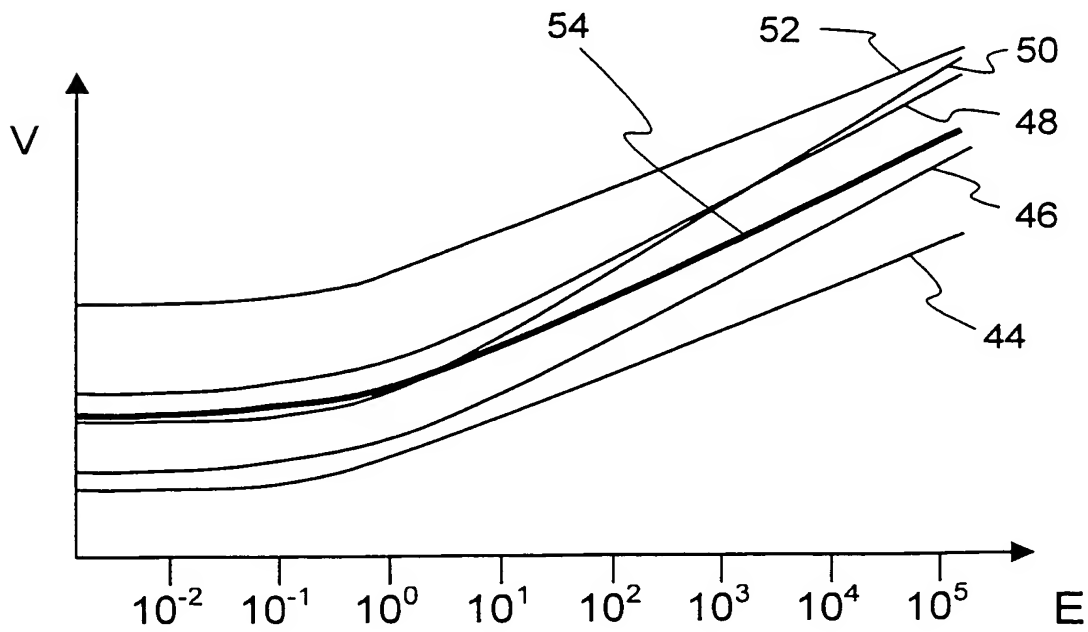


Fig. 6

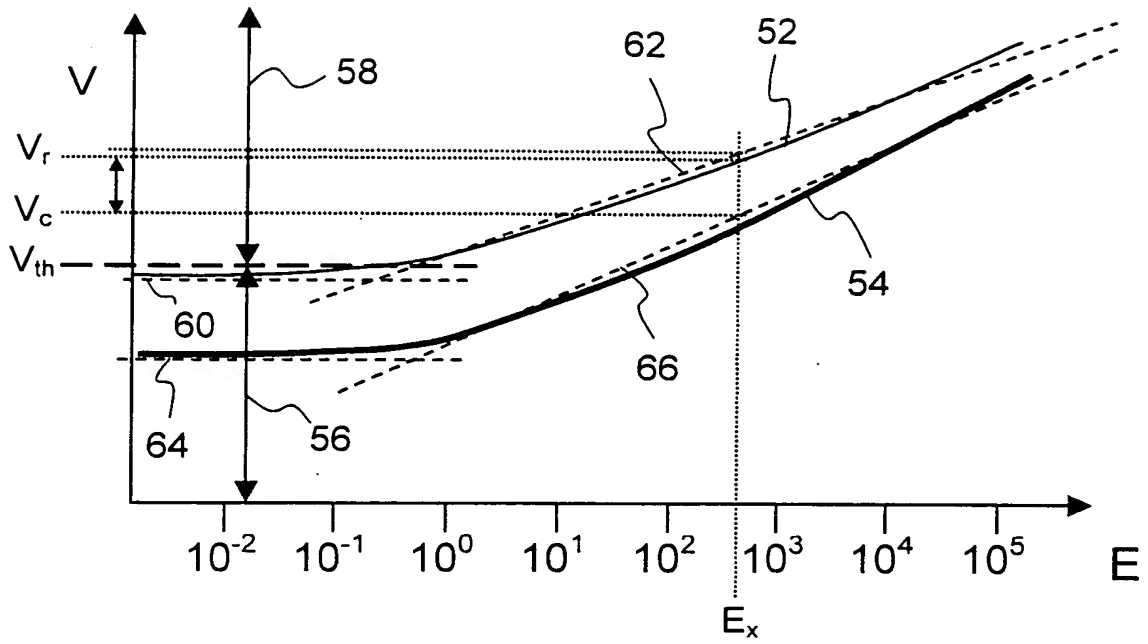


Fig. 7

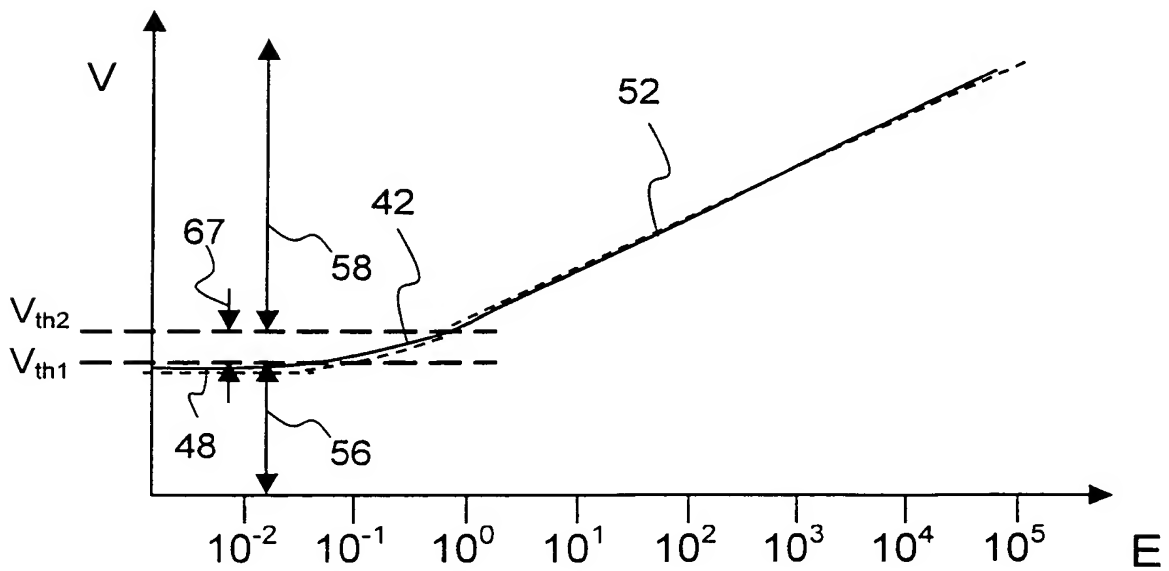


Fig. 8

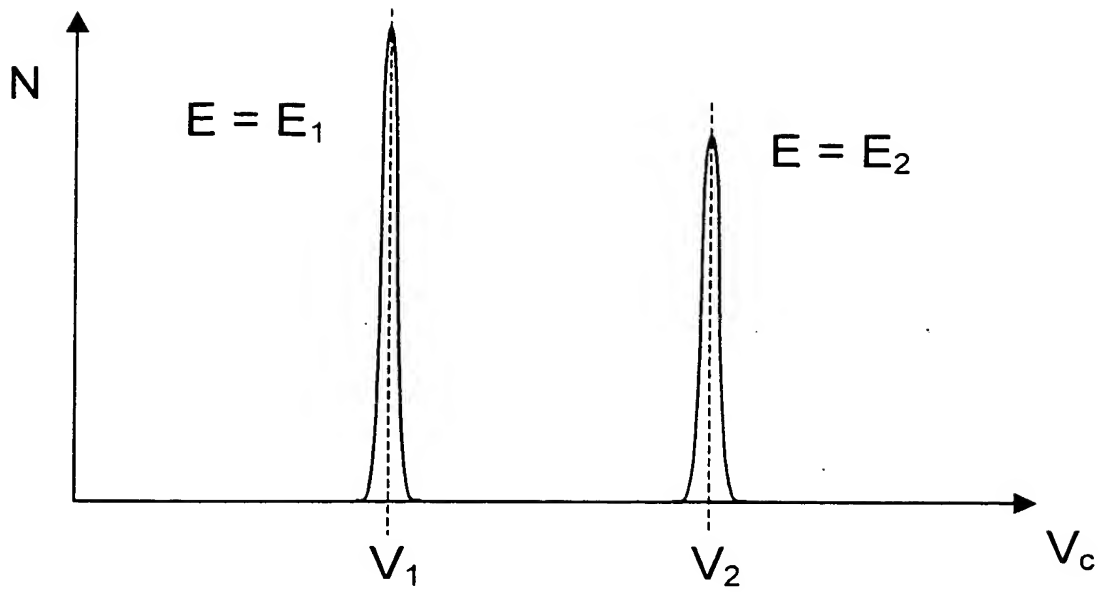


Fig. 9

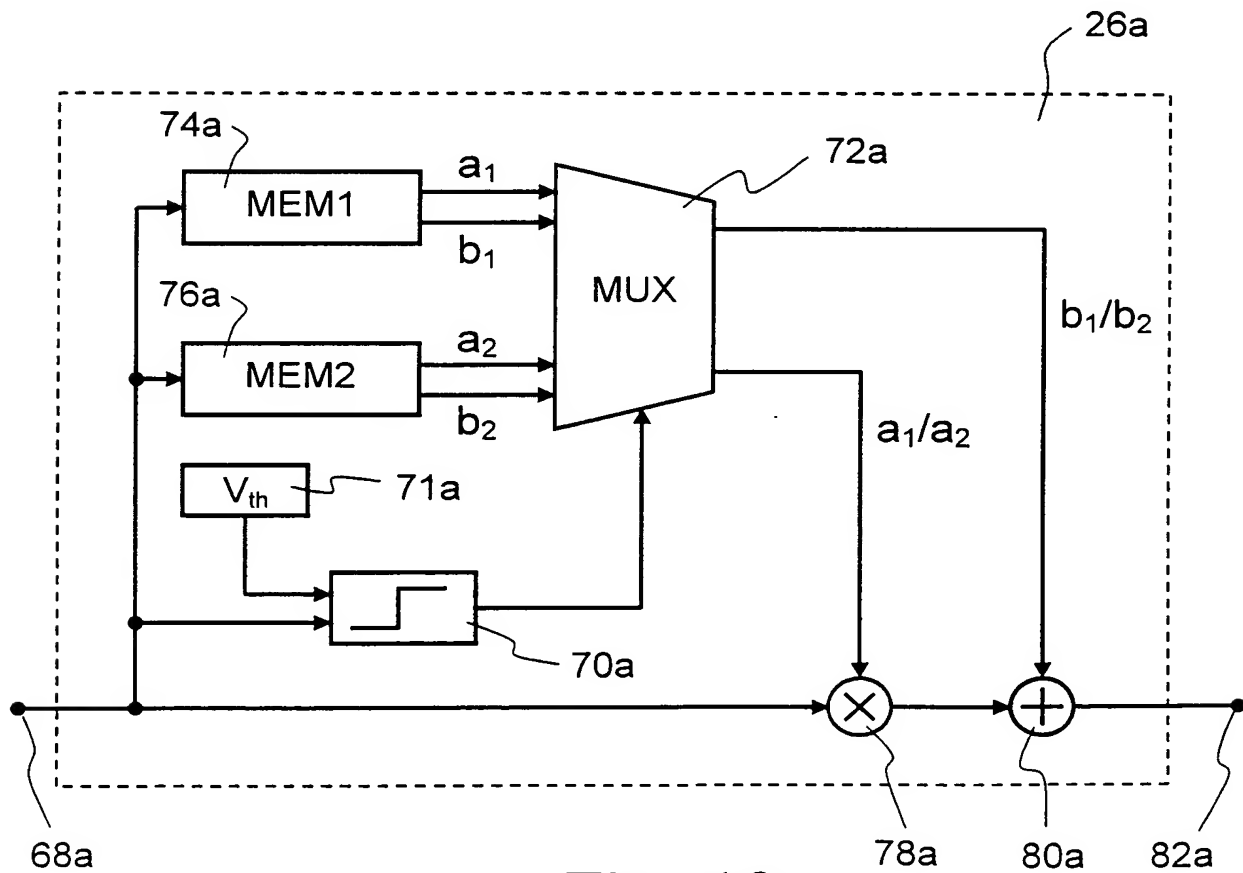


Fig. 10a

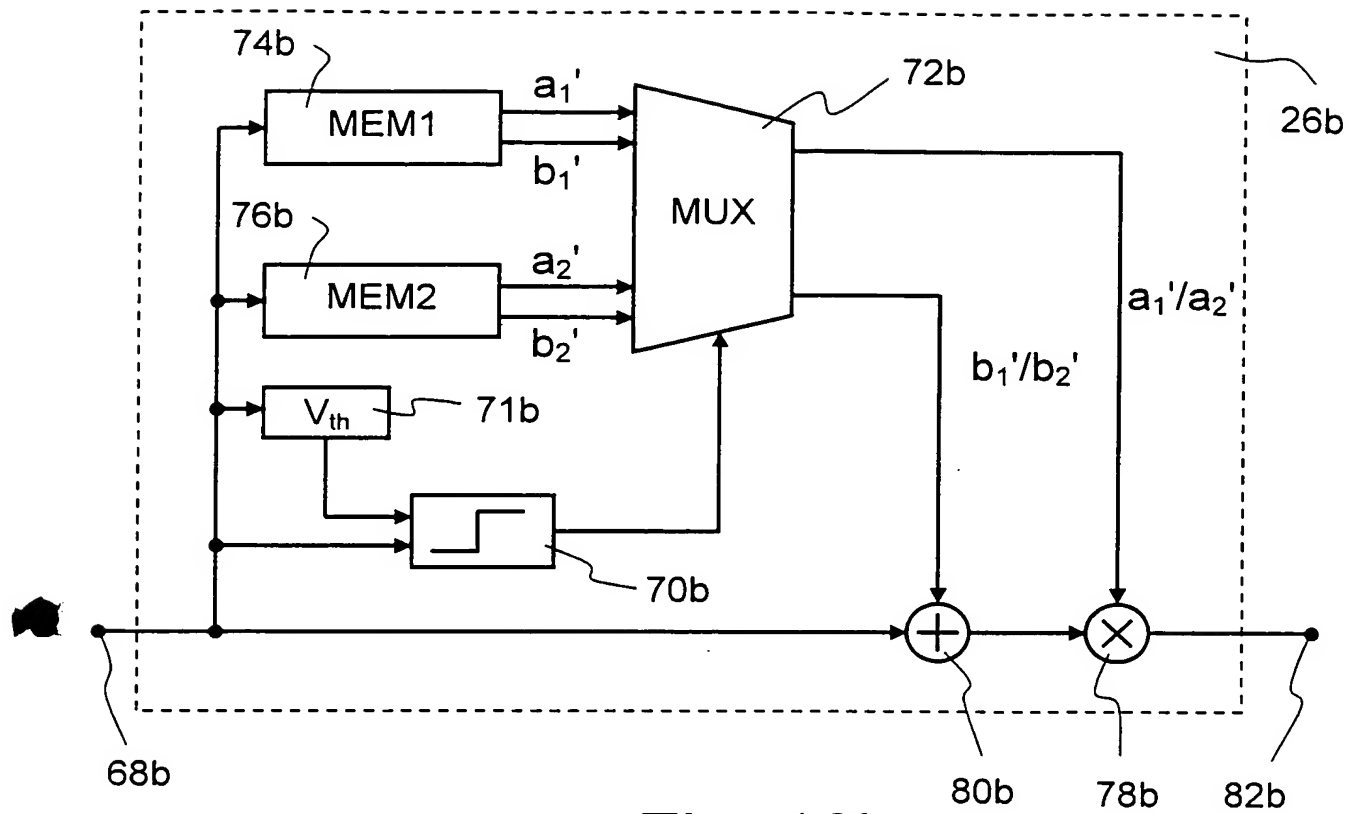


Fig. 10b

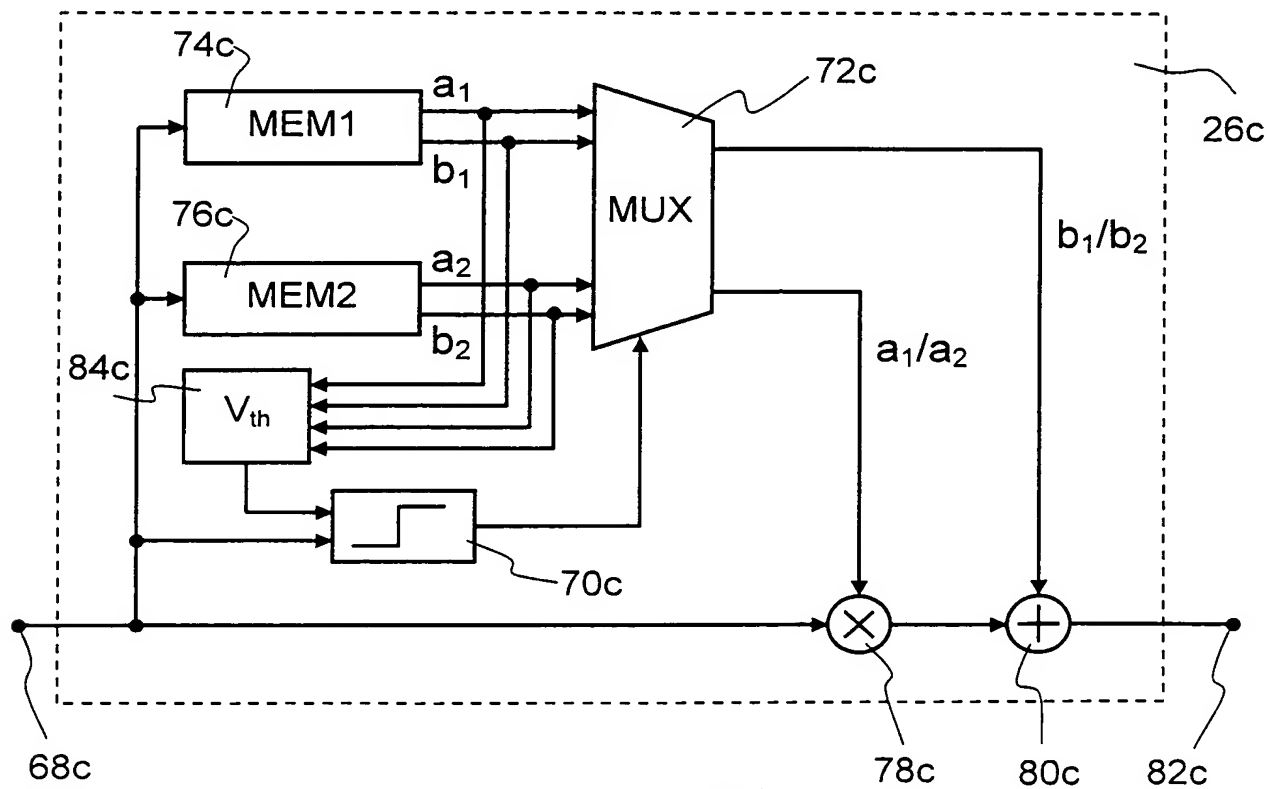


Fig. 10c

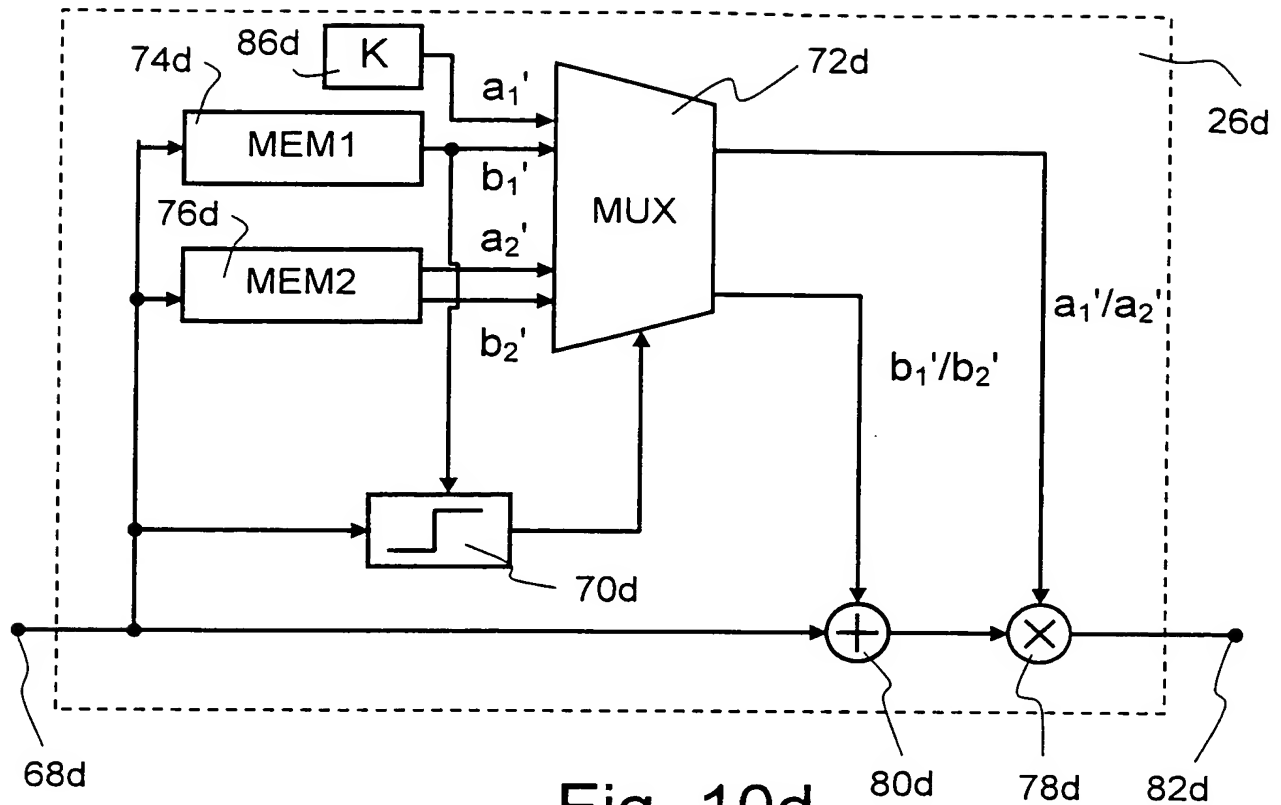


Fig. 10d

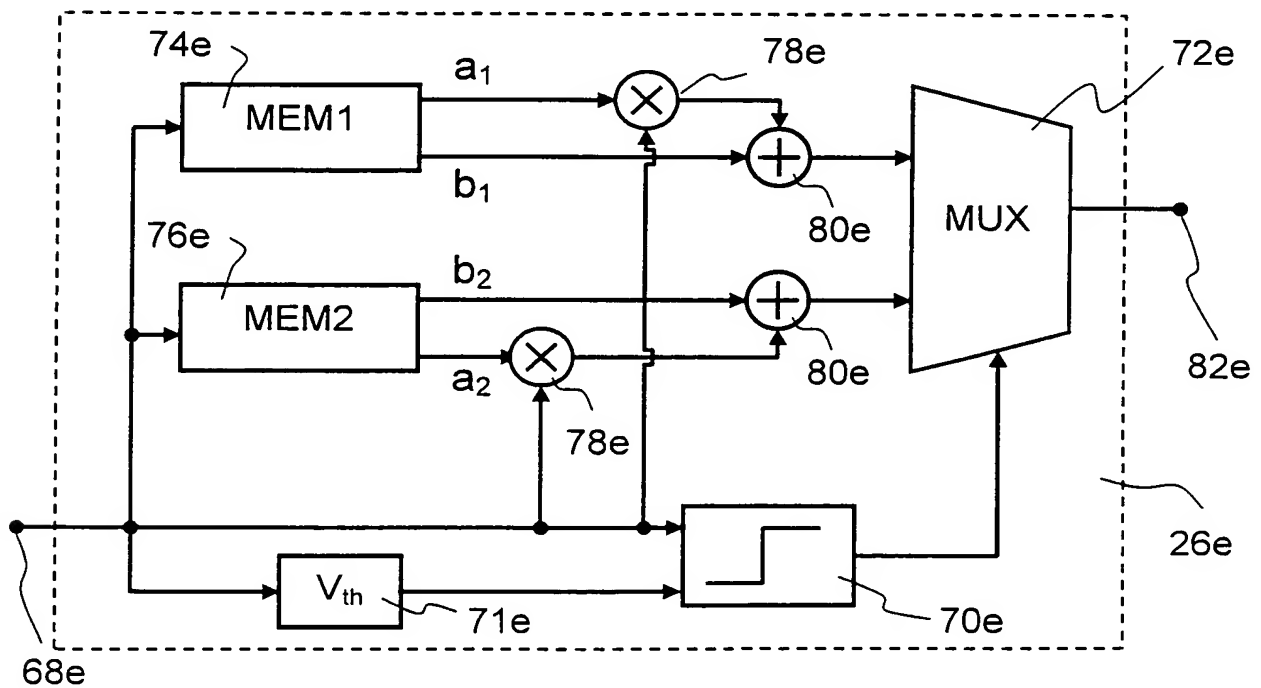


Fig. 10e

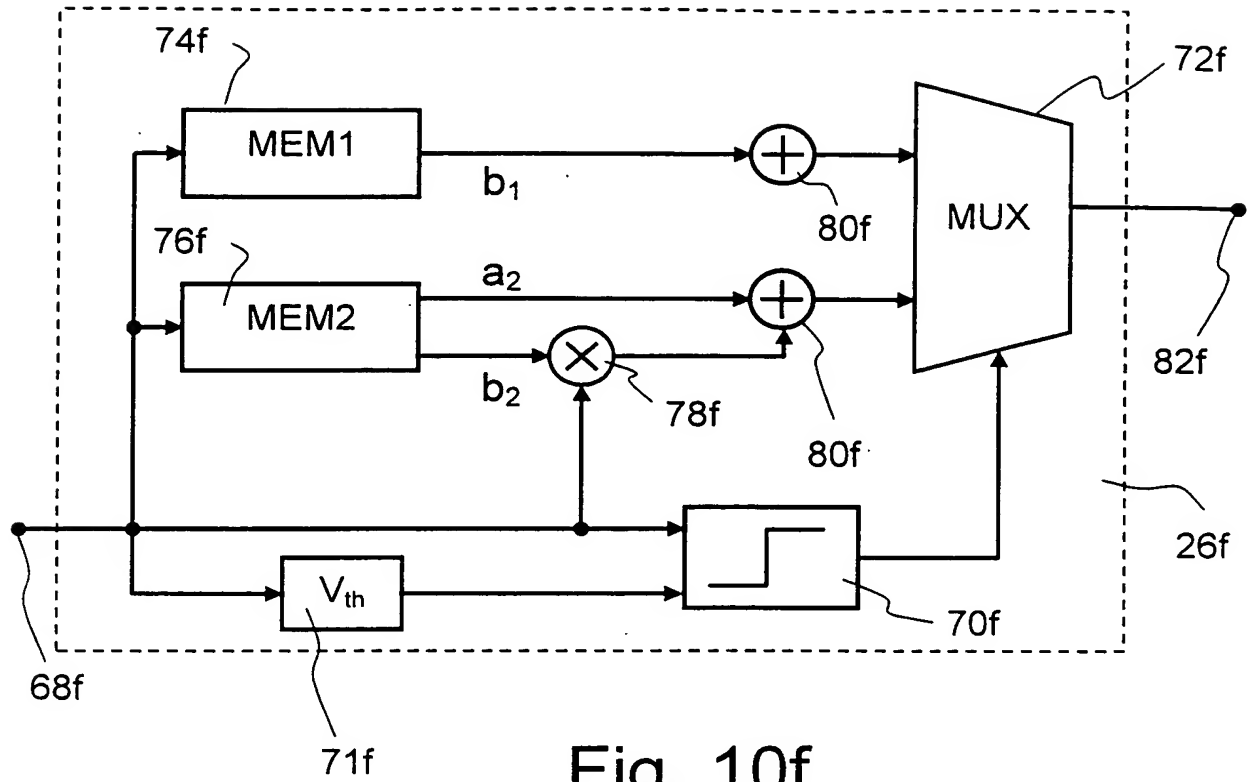


Fig. 10f

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur FPN-Korrektur von Bildsignalen, die von Bildzellen (22) eines Bildsensors (12) erzeugt werden. Die Vorrichtung weist auf:

- a) einen Diskriminator (70) zum Ermitteln, in welchem von wenigstens zwei Wertebereichen (56, 58; 67) der Wert des Bildsignals zu einem vorgegebenen Zeitpunkt liegt,
- b) einer Auswahleinrichtung (72, 74, 76, 78, 80) zur Bestimmung eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung einer Transformationsgleichung in Abhängigkeit von dem von dem Diskriminator (70) ermittelten Ergebnis.

Vorzugsweise umfaßt die Auswahleinrichtung Mittel (72) zum Auswählen einer Transformationsgleichung aus mehreren Transformationsgleichungen in Abhängigkeit von dem von dem Diskriminator (70) ermittelten Ergebnis nach a) und eine Transformations-einheit (74, 76, 78, 80) zum Berechnen eines Korrekturwertes für das Bildsignal unter Verwendung der ausgewählten Transformationsgleichung (Fig. 10b).

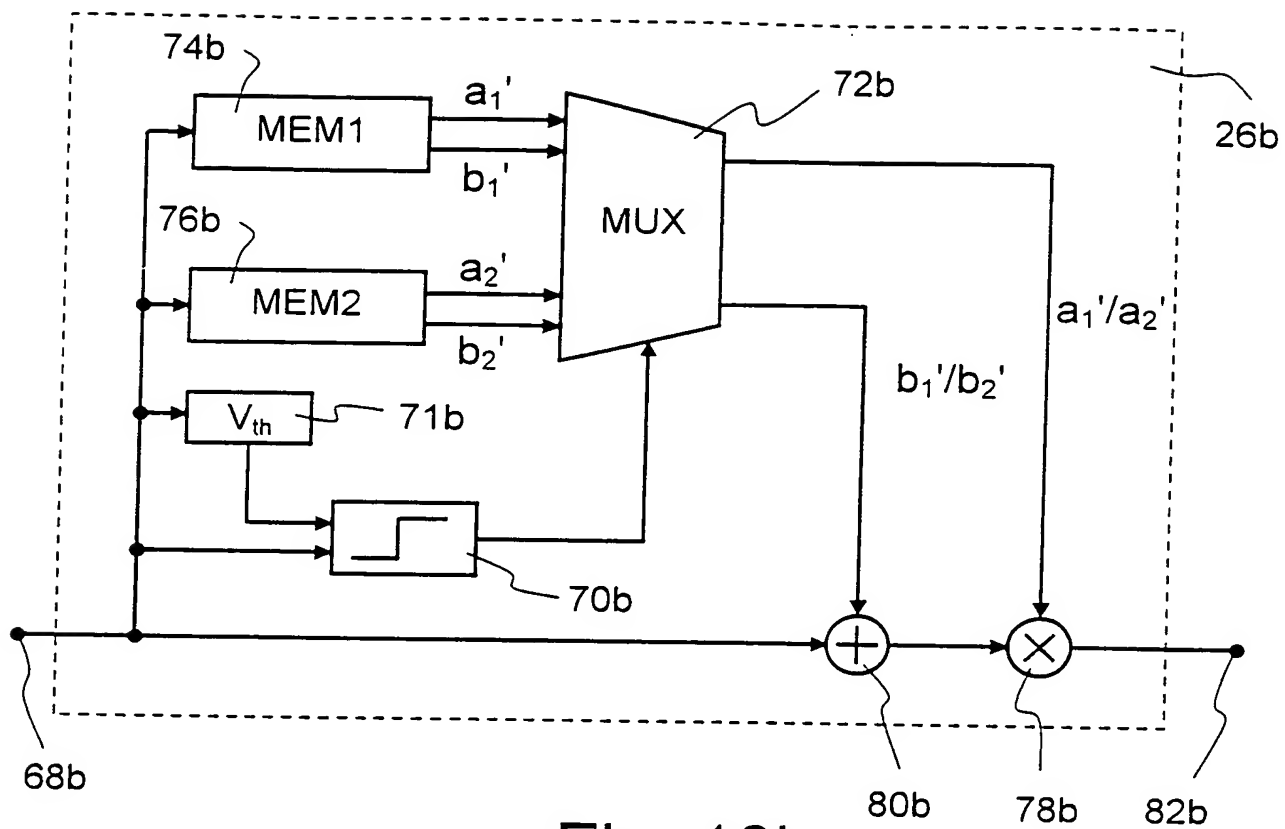


Fig. 10b